

E

tude du déterminisme génétique du photopériodisme des sorghos guinea

G. TROUCHE¹, M. VAKSMANN², J. CHANTEREAU³,
M. KOURESSY², H.D. MAÏGA³, C. BARRO⁴

1. Cirad/Inera, 01 BP 596, Ouagadougou, Burkina Faso

2. Ier/Cirad, Crra Sotuba, BP 438, Bamako, Mali

3. Programme conjoint sorgho Icrisat/Cirad, BP 320, Bamako, Mali

4. Inera, Crra Saria, BP 10, Koudougou, Burkina Faso

Résumé — En Afrique de l'Ouest, les variétés locales de sorgho de race guinea sont en grande majorité sensibles à la photopériode, ce qui leur confère une grande capacité d'adaptation vis-à-vis des contraintes de leur environnement agro-écologique. A l'opposé, les variétés sélectionnées sont en général insensibles à la photopériode, et doivent être semées à des dates relativement fixes, ces variétés sont donc peu adaptées aux systèmes de culture traditionnels. Dans l'objectif d'introduire dans les variétés améliorées une certaine sensibilité à la photopériode, des études sur le déterminisme photopériodique des sorghos guinea ouest-africains ont été conduites au Mali et au Burkina Faso. Les premiers résultats disponibles obtenus à partir de plusieurs croisements faisant intervenir au moins un écotype guinea sensible à la photopériode, montrent que, chez ces sorghos guinea, la sensibilité à la photopériode est dominante par rapport à l'insensibilité, et que la durée du cycle végétatif est contrôlée par au moins deux gènes majeurs, et plusieurs gènes mineurs. L'étude des lignées recombinantes suggère également que plusieurs gènes ont une action sur le Bvp (Basic vegetative phase) et la sensibilité à la photopériode au sens strict. Les études de marquage moléculaire réalisées sur ces lignées recombinantes devraient apporter de nouvelles informations sur le nombre de gènes impliqués et leur rôle dans le contrôle génétique de la réponse à la photopériode.

Abstract — Genetic study on photoperiod of guinea sorghum. West African landraces are generally photoperiod sensitive. This trait explains their good adaptation to prevailing climatic conditions and agronomic constraints. On the contrary, selected lines are generally photoperiod insensitive. They have to be sown on specific dates such that their maturity corresponds with the end of the rainy season. These varieties are poorly adapted to traditional farming systems. In order to facilitate introduction of photoperiod sensitivity into selected lines, genetic studies have been carried out in Mali and Burkina Faso. The results of crosses involving photosensitive guinea parents have shown that photoperiod sensitivity is dominant over photoperiod insensitivity. Moreover, the duration of the vegetative phase has appeared to be controlled by at least two major genes, and several minor genes. The study of recombi-

nant inbred lines has also shown that several genes are affecting Bvp (Base vegetative phase) and photoperiod sensitivity *sensu stricto*. The Qtl mapping studies undertaken with these recombinant inbred lines should provide new information on the number and effects of genes involved in the genetic control of the photoperiod response

Les sorghos cultivés sont classiquement divisés en cinq races de base, qui sont les races bicolor, guinea, kafir, caudatum et durra. Dans toute la zone soudanienne de l'Afrique de l'Ouest, les variétés locales de sorgho appartiennent en grande majorité à la race guinea. Ces variétés locales guinea sont généralement des plantes photopériodiques de jours courts sensibles aux faibles températures nocturnes (Vaksmann *et al.*, 1998). Ces sorghos ont donc tendance à fleurir plus rapidement lorsque la longueur du jour diminue, c'est-à-dire vers la fin de la saison des pluies. La sensibilité à la photopériode des variétés locales leur procure une certaine souplesse d'adaptation face aux aléas climatiques (Vaksmann *et al.*, 1996). Avec ces variétés, les paysans disposent d'une grande flexibilité dans les dates de semis. Ils peuvent ainsi semer précocement, dès l'installation des pluies. Cette pratique des semis précoces assure à la plante une meilleure valorisation de l'azote organique minéralisée en début de saison et permet une meilleure maîtrise de l'enherbement. Le photopériodisme des variétés locales garantit également un bon calage du cycle par rapport à la fin de la saison des pluies, qui est généralement moins variable que le début. Quelle que soit la date de semis, la variété fleurira à une date relativement fixe qui se situe environ deux à trois semaines avant l'arrêt des pluies. La maturation des grains se fait donc dans de bonnes conditions d'alimentation hydrique mais après les grandes pluies, ce

qui permet d'éviter les altérations du grain causées par les moisissures, insectes (punaises) et les attaques d'oiseaux.

Les variétés améliorées ont très souvent perdu cette sensibilité à la photopériode pour au moins trois principales raisons. En premier lieu, l'insensibilité à la photopériode a été un objectif de sélection pour l'obtention de variétés de cycle court, aptes à être cultivées dans une grande gamme de latitudes ou en contre-saison. En deuxième lieu, la sensibilité à la photopériode a été naturellement éliminée par l'utilisation courante, dans les programmes de sélection, de variétés de race *caudatum* ou *kafir*, généralement peu ou pas sensibles à la photopériode sous les latitudes tropicales, cela dans le but de créer des variétés de taille réduite avec un meilleur rapport grain/paille pour une meilleure réponse aux engrais. Enfin, les sélectionneurs ne disposaient pas de connaissances approfondies sur la génétique du photopériodisme qui auraient permis de développer des schémas de sélection visant à améliorer le rapport grain/paille tout en conservant le photopériodisme des sorghos guinea.

Ainsi, avec les variétés améliorées, les paysans doivent semer à une date précise pour faire coïncider la maturation du grain avec la fin de la saison des pluies. En cas de semis trop précoces par rapport à la date recommandée, les grains sont exposés aux attaques des moisissures et des insectes de la panicle. Avec des semis trop tardifs, la période de remplissage des grains est décalée par rapport à l'arrêt des pluies d'où le risque de subir une sécheresse de fin de cycle. En définitive, ces variétés sont souvent mal adaptées aux systèmes traditionnels de culture et ceci est une raison de leur faible degré d'adoption par les paysans ouest-africains (Stoop *et al.*, 1981).

Afin de mieux comprendre le processus de floraison des plantes cultivées, Vergara et Chang (1976) puis Major (1980) ont entrepris de modéliser l'effet de la photopériode sur la durée de la phase végétative. Dans ce modèle, trois paramètres principaux caractérisent le comportement photopériodique d'une plante de jours courts comme le sorgho : la phase végétative de base (*Base vegetative phase*, Bvp), le seuil photopériodique (*Maximum optimal photoperiod*, Mop) et la sensibilité à la photopériode. Le Bvp représente le temps thermique minimum pour atteindre le stade d'initiation paniculaire en condition de photopériode optimale. Le Mop est défini comme la valeur de photopériode au-delà de laquelle la durée de la phase végétative s'accroît. La sensibilité à la photopériode est mesurée par la pente de la droite exprimant le rallongement de la phase végétative en fonction de l'augmentation de la photopériode. Une étude récente (Vaksmann *et al.*, 1998) a démontré que la réponse à la photopériode d'un écotype guinea ouest-africain (Is 7680) pouvait bien se caler avec le

modèle de Major lorsque le temps thermique de la phase végétative (semis-initiation paniculaire) était calculé en utilisant les températures nocturnes minimales.

Au niveau génétique, il est classiquement admis que la floraison du sorgho est commandée par quatre gènes, appelés gènes de maturité Ma_1 à Ma_4 , ayant de multiples allèles (Quinby, 1967). De manière générale, les sorghos tropicaux possèdent les allèles dominants au niveau des quatre loci, et un allèle récessif à un locus donné apportera un gain de précocité. Le gène Ma_1 est celui qui contrôle la réponse à la photopériode ; l'allèle dominant Ma_1 confère une plus grande sensibilité à la photopériode comparé à l'allèle récessif ma_1 (Major *et al.*, 1990). Le gène Ma_2 serait impliqué dans l'interaction photopériode x température mais son rôle exact n'est pas bien défini. L'allèle dominant du gène Ma_3 aurait pour effet d'accroître le phyllochrone (vitesse d'émission des feuilles). Son allèle récessif ma_3 aurait pour effet de réduire le Bvp et d'éliminer la sensibilité à la photopériode. Enfin, le rôle du gène Ma_4 n'est pas bien déterminé mais l'expression de ce gène semble très influencée par la température. En réalité, il est probable que la réponse des sorghos aux températures et à la photopériode soit le résultat non seulement d'une complémentarité des effets des quatre gènes de maturité (Major *et al.*, 1990) mais également de l'intervention de gènes mineurs à effets plus réduits (Quinby et Karper, 1945, 1954). En particulier, la réponse marquée des sorghos guinea à de très faibles variations de longueur du jour (quelques minutes) semble difficile à expliquer par la seule action des quatre gènes de maturité.

Dans le but d'incorporer au sein des variétés sélectionnées une certaine sensibilité à la photopériode, il convient de mieux caractériser le comportement photopériodique des sorghos guinea ouest-africains et d'en connaître mieux le déterminisme génétique. Dans ce but, nous avons conduit différentes études au Mali et au Burkina Faso à partir de plusieurs croisements faisant intervenir au moins un écotype guinea sensible à la photopériode. Dans cette communication, nous présenterons les premiers résultats disponibles à partir de trois études complémentaires sur des F_1 , F_2 et lignées recombinantes F_6 .

Matériel et méthodes

Ces études ont été réalisées de 1994 à 1996 dans les stations de recherche de Samanko et de Sotuba au Mali et Saria au Burkina Faso.

L'étude de F_1 a été conduite en 1994 sur la station de recherche Icrisat de Samanko, située à environ 20 km de Bamako (longitude 8°70' W, latitude 12°33' N,

altitude 345 m). L'hybride F_1 étudié est le produit d'un croisement entre un écotype guinea du Burkina Faso, Is 7680 (78 dans la collection Inera Saria et Ssm 249 dans la collection Cirad) et une lignée mâle stérile américaine convertie Atx 623. Le comportement thermophotopériodique de l'écotype Is 7680 a été décrit dans une étude récente (Vaksmann *et al.*, 1998). La lignée Atx 623 est insensible à la photopériode dans les conditions de culture du sorgho au Mali.

Les deux parents et l'hybride F_1 ont été semés durant la saison des pluies 1994 à cinq dates : 17 juin, 1^{er} juillet, 15 juillet, 29 juillet et 9 septembre. Pour chaque génotype et chaque date de semis, la parcelle élémentaire consistait en une ligne de 6 m de longueur avec des écartements de 0,80 m entre les lignes et 0,30 m entre les poquets. Un démariage à un pied par poquet a été effectué environ 10 jours après la levée. Les parcelles ont reçu une fertilisation de 100 kg/ha d'engrais coton (15-15-15) au labour et 100 kg/ha d'urée fractionnés en deux apports au démariage et à la montaison. Lorsque c'était nécessaire, des apports d'eau appropriés ont été assurés par une irrigation par gravité. Pour chaque parcelle, six plants tirés aléatoirement ont été suivis. Pour chaque plant, la date de déploiement de la feuille drapeau (visualisation de la ligule) a été notée grâce à un passage effectué tous les trois jours. Le nombre de feuilles émises par la tige principale a également été mesuré grâce à un marquage régulier des feuilles déployées. Pour chaque génotype et date de semis, la durée de la phase végétative a été appréciée par la durée moyenne du cycle semis-feuille drapeau et par le nombre moyen de feuilles émises.

L'étude des F_2 a été réalisée en 1996 sur la station de recherche agronomique de Sotuba de l'Ier, située à 7 km de Bamako (longitude 7°56' W, latitude 12°39' N, altitude 320 m). Les trois populations F_2 suivies sont issues de croisements deux à deux entre trois écotypes guinea du Mali qui représentent les trois groupes de précocité définis pour le zonage agroclimatique des sorghos maliens :

- Csm 63 : précoce (cycle semis-maturité égal à 100 jours), insensible à la photopériode à la latitude de Bamako ;
- Csm 388 : demi-tardif (cycle semis-maturité égal à 130 jours pour un semis de juin), sensible à la photopériode ;
- Wassoulou : très tardif (cycle semis-maturité égal à 170 jours pour un semis de juin), sensible à la photopériode.

Les trois populations F_2 ont été semées le 14 juin à raison de 500 poquets par F_2 . Les parents des croisements et les F_1 ont été semés à la même date en bordure de leur F_2 respective. Cette date de semis

précoce a été choisie car elle permet de distinguer les génotypes photopériodiques, qui sont, dans ces conditions, les plus tardifs, des génotypes non ou peu photopériodiques, qui sont les plus précoces (Chantereau *et al.*, 1995). Les semis ont été réalisés sur billons aux écartements de 0,75 m entre les billons et 1 m entre les poquets sur le billon. Les semences ont été traitées avec du Furadan (carbofuran) au moment du semis. Le démariage a été fait à un plant par poquet peu après la levée. Les parcelles ont reçu une fertilisation homogène de 100 kg/ha de phosphate d'ammoniaque avant le semis et 50 kg/ha d'urée à la montaison. L'installation d'un système d'irrigation de type goutte à goutte a permis une irrigation satisfaisante de toutes les plantes. Sur chaque plant F_2 , la date de déploiement de la feuille drapeau (feuille ligulée) a été observée grâce à un passage tous les trois jours et la durée du cycle semis-feuille drapeau a ainsi été calculée.

L'étude des lignées recombinantes F_6 (Lr) a été conduite, de 1994 à 1996, sur la station de recherche agricole Inera de Saria, située à 80 km à l'ouest de Ouagadougou (longitude 2°09' W, latitude 12°16' N, altitude 300 m). Les 86 lignées étudiées sont issues d'un croisement nommé Cauga entre l'écotype guinea Is 7680 (78 dans la collection Inera Saria) et un écotype caudatum du Zimbabwe Is 2807, peu sensible à la photopériode dans les conditions de culture du sorgho de Saria. Les lignées ont été obtenues en appliquant la méthode Ssd (*Single Seed Descent*) sans sélection à partir de 100 plantes F_2 . Les lignées et les parents ont été semés à trois dates durant la saison des pluies, 21 juin, 21 juillet et 22 septembre, et une date en contre-saison, 10 janvier. Vingt lignées et les parents ont également été semés le 9 juillet. Pour chaque génotype et chaque date de semis, la parcelle élémentaire consistait en une ligne de 5,1 m de longueur avec des écartements de 0,80 m entre les lignes et 0,30 m entre les poquets. Un démariage à un pied par poquet a été effectué environ 10 jours après la levée. Les semences ont été traitées avec du Furadan au moment du semis. Les parcelles ont reçu une fertilisation de 100 kg/ha d'engrais coton (14-23-14) au labour et 50 kg/ha d'urée à la montaison. Pour les dates de septembre et janvier, les semis ont été réalisés sur billons et les plantes ont bénéficié d'une irrigation appropriée. Dans chaque parcelle, cinq plantes tirées au hasard ont été suivies et, pour chaque plante, la date de déploiement de la feuille drapeau et le nombre de feuilles émises par la tige principale ont été observés. Les méthodes et fréquences des observations étaient identiques à celles décrites pour l'étude de F_1 . Pour chaque lignée et chaque date de semis, les valeurs analysées représentent les valeurs moyennes pour les cinq plantes suivies.

Sur chaque site, les températures journalières minimum et maximum sous abri ont été relevées au niveau d'une station météorologique.

Pour la modélisation du comportement photopériodique des lignées recombinantes, nous avons suivi la méthode proposée pour l'écotype guinea ls 7680 (Vaksmann *et al.*, 1998). Pour estimer la date d'initiation paniculaire, nous avons considéré le temps thermique depuis le semis jusqu'au déploiement de la feuille drapeau. Ce temps thermique a été calculé en utilisant les températures moyennes journalières (Dtt) suivant le modèle Ceres adapté au sorgho (Alagarswamy et Ritchie, 1991). La date calendaire de l'initiation paniculaire a ensuite été établie au jour correspondant à $0,6 \times$ temps thermique Ceres semis-feuille drapeau (Coefficient proposé par Muchow et Carberry, 1990).

Le temps thermique de la phase végétative (semis-initiation paniculaire) utilisé pour modéliser la réponse des lignées à la photopériode a été calculé grâce à la sommation des températures nocturnes journalières minimales diminuées d'une température de base :

$$Ntt = \sum_{i=1}^n \{T_{min} - T_{base}\}$$

où Ntt = temps thermique nocturne accumulé pendant n jours du semis jusqu'au jour estimé de l'initiation paniculaire, T_{min} = somme des températures nocturnes journalières minimales et $T_{base} = 6^\circ\text{C}$ suivant les calculs de Vaksmann *et al.* (1997).

La photopériode effective utilisée pour la modélisation correspond à la longueur du jour à la date estimée pour l'initiation paniculaire. Cette longueur du jour a été calculée suivant le modèle de Forsythe *et al.* (1995) pour une élévation du soleil > -6 degrés.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Cstat du Cirad.

Résultats et discussions

Populations F_1

La courbe de réponse phénologique de l'hybride F_1 aux cinq dates de semis suit de très près celle du parent guinea 78 (ls 7680), que le caractère considéré soit la durée en jours du cycle semis-feuille drapeau (figure 1) ou le nombre de feuilles émises (figure 2).

Ces résultats mettent en évidence une dominance de la tardiveté pour les semis de juin et juillet et une dominance de la précocité pour le semis de septembre. D'après la caractérisation du comportement thermophotopériodique de la lignée ls 7680 faite selon le modèle de Major adapté par Vaksmann *et al.* (1997), les effets observés de dominance touchent donc deux paramètres distincts :

- la sensibilité à la photopériode ;
- le Bvp.

Ainsi, pour les semis de juin et juillet pour lesquels l'initiation paniculaire intervient en jours longs (photopériode non optimale), ces résultats démontrent la dominance de la sensibilité à la photopériode par rapport à l'insensibilité, ce qui est en accord avec les résultats obtenus par Major *et al.* (1990) au sujet du contrôle de la réponse à la photopériode par le gène de maturité Ma_1 dont l'allèle dominant confère une sensibilité accrue à la photopériode.

Pour le semis de septembre pour lequel l'initiation paniculaire se déroule en jours courts donc en photopériode favorable, les résultats mettent en évidence une dominance de la précocité au niveau du Bvp, ce qui n'est pas mentionné dans la littérature pour le sorgho à propos de l'action connue des gènes de

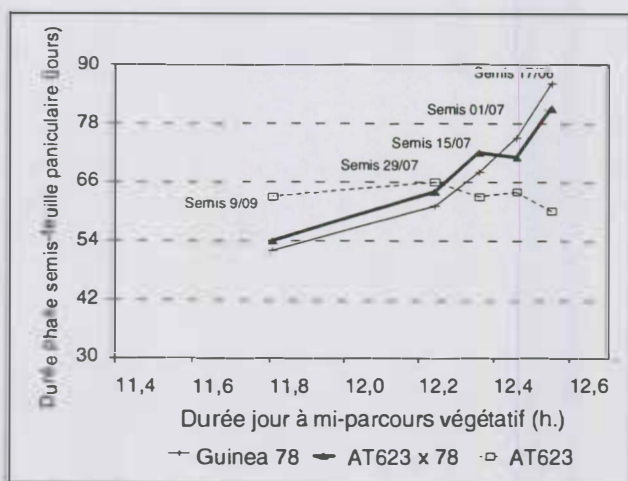


Figure 1. Effet de différentes dates de semis sur la durée du cycle végétatif de deux génotypes de sorgho et de leur hybride.

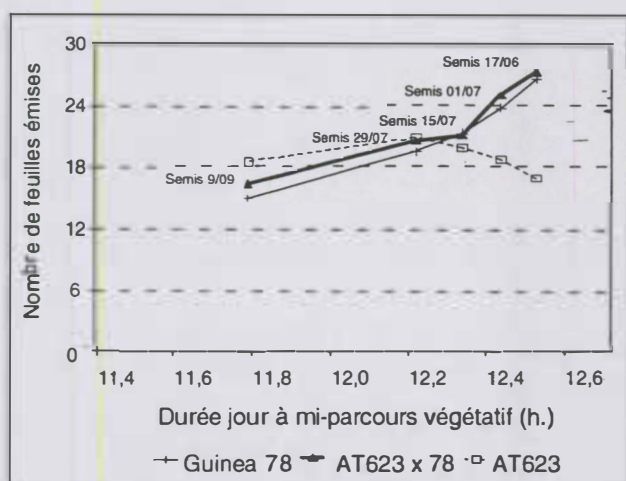


Figure 2. Effet de différentes dates de semis sur la production de feuilles de deux génotypes de sorgho et de leur hybride.

maturité. En revanche, la dominance de la précocité pour le Bvp a été signalée chez le maïs (Rood et Major, 1991).

Populations F₂

Croisement Csm 63 x Wassoulou

Pour ce premier croisement, la variation de la longueur du cycle semis- feuille drapeau (Csfd) chez les plantes F₂ a une allure bimodale qui sépare assez bien un groupe d'individus précoces (Csfd < 90 jours) et un groupe d'individus tardifs (Csfd > 90 jours) (figure 3). Les deux parents du croisement sont positionnés aux extrémités de la variation des F₂. La valeur de l'hybride F₁ se situe un peu au-dessus de la valeur moyenne des deux parents ce qui traduit une dominance partielle de la tardiveté sur la précocité. La proportion des individus précoces par rapport aux individus tardifs est proche du rapport 1/3 du monohybridisme (tableau I). Les plantes du groupe tardif diffèrent des plantes du groupe précoce par au moins un gène majeur pour lequel la tardiveté en jours

longs est l'expression dominante. Ce gène pourrait être le gène de maturité Ma₁ contrôlant la réponse à la photopériode (Major et al., 1990), dont l'allèle dominant serait présent chez Wassoulou et l'allèle récessif chez Csm 63. A l'intérieur de chaque groupe, il existe une variation importante qui traduit l'action d'autres gènes à effets mineurs.

Croisement Csm 63 x Csm 388

Pour ce deuxième croisement, la variation de la durée du cycle semis-feuille drapeau a également une distribution à deux modes qui différencie nettement un groupe d'individus précoces (Csfd < 75 jours) et un groupe d'individus demi-tardifs (Csfd > 75 jours) (figure 4). Comme pour le premier croisement, la proportion des plantes précoces par rapport aux plantes tardives s'approche du rapport 1/3 du monohybridisme (tableau II). L'hybride F₁ présente une valeur de cycle très proche de celle du parent tardif Csm 388, ce qui paraît traduire pour ce croisement une dominance totale de la tardiveté sur la précocité. Dans cette F₂, on note également l'existence de plantes plus tardives que le parent photopériodique Csm 388. Ces résultats pourraient exprimer

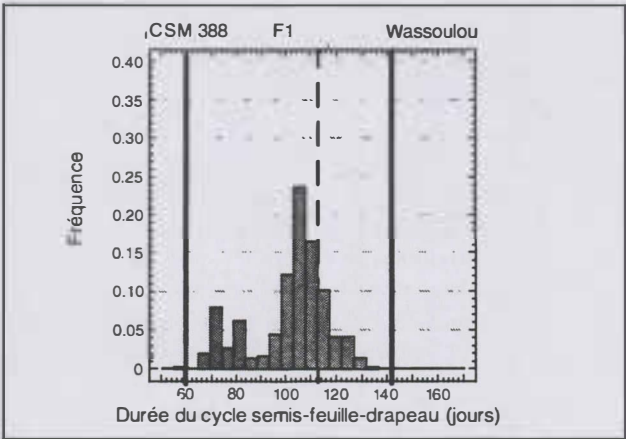


Figure 3. Distribution de fréquence de la durée du cycle végétatif pour la population F₂ du croisement Csm 63 x Wassoulou.

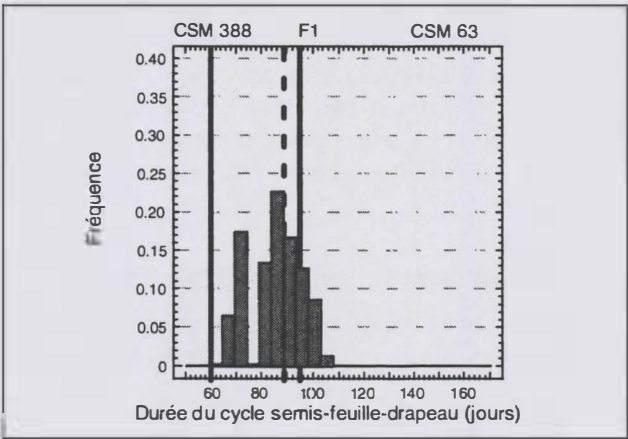


Figure 4. Distribution de fréquence de la durée du cycle végétatif pour la population F₂ du croisement Csm 63 x Csm 388.

Tableau I. Ségrégations observées pour la durée du cycle végétatif dans la F₂ du croisement Csm 63 x Wassoulou.

| Croisement | Fréquence observée Précoces (Csfd < 90 j) | Fréquence observée Tardifs (Csfd > 90 j) | χ^2 obs pour 3/1 | $\chi^2_{0,95}$ seuil ddl=1 |
|--------------------|--|---|-----------------------|-----------------------------|
| Csm 63 x Wassoulou | 60 | 226 | 2,55 | 3,84 |

Tableau II. Ségrégations observées pour la durée du cycle végétatif dans la F₂ du croisement Csm 63 x Csm 388.

| Croisement | Fréquence observée Précoces (Csfd < 75 j) | Fréquence observée Tardifs (Csfd > 75 j) | χ^2 obs pour 3/1 | $\chi^2_{0,95}$ seuil ddl=1 |
|------------------|--|---|-----------------------|-----------------------------|
| Csm 63 x Csm 388 | 107 | 334 | 0,11 | 3,84 |

Tableau III. Ségrégation observée pour la durée du cycle végétatif dans la F₂ du croisement Wassoulou x Csm 388.

| Croisement | Fréquence observée Précoces (Csfd < 95 j) | Fréquence observée Tardifs (Csfd > 95 j) | χ^2 obs pour 15/1 | $\chi^2_{0,95}$ seuil ddl=1 |
|---------------------|--|---|------------------------|-----------------------------|
| Wassoulou x Csm 388 | 38 | 543 | 0,11 | 3,84 |

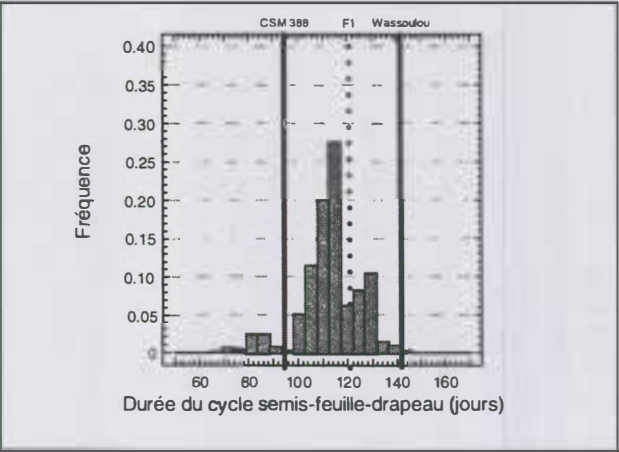


Figure 5. Distribution de fréquence de la durée du cycle végétatif pour la population F₂ du croisement Wassoulou x Csm 388.

l'action d'un autre gène majeur, dont l'allèle dominant serait présent pour la variété Csm 388 et qui serait différent du gène Ma₁ car il démontre, dans ce cas, une dominance totale. Ces résultats suggèrent également l'action de gènes mineurs ayant des effets de complémentation entre eux ou avec le gène majeur.

Croisement Wassoulou x Csm 388

Pour ce troisième croisement, la variation de la durée du Csfd a de nouveau une distribution bimodale qui

permet de distinguer un groupe d'individus plus précoces que Csm 388 (Csfd < 95 jours) et un groupe d'individus tardifs (Csfd >95 jours), ce deuxième groupe étant de précocité intermédiaire entre les deux parents (figure 5). La répartition des individus entre ces deux groupes de précocité suit un rapport 1/15 qui indique un dihybridisme (tableau III). Les deux variétés diffèrent donc par deux gènes majeurs dominants pour la tardivité, ce qui est en accord avec les hypothèses émises précédemment. Les individus les plus précoces cumulent ainsi les allèles récessifs de ces deux gènes.

Lignées recombinantes

Pour les deux dates de semis les plus extrêmes de la saison des pluies, 21 juin et 22 septembre, la durée du cycle végétatif (cycle semis - feuille drapeau Csfd) des lignées recombinantes et de leurs parents a été représentée sous la forme d'histogramme de fréquence. Pour le semis de juin, l'allure en courbe de Gauss de l'histogramme et l'existence de lignées plus précoces ou plus tardives par rapport aux deux parents confirment le déterminisme polygénique de la durée du cycle végétatif (figure 6). Pour le semis de septembre, pour lequel la durée du cycle végétatif est très liée à la valeur de la phase végétative de base (Bvp), l'histogramme de la durée du cycle végétatif a

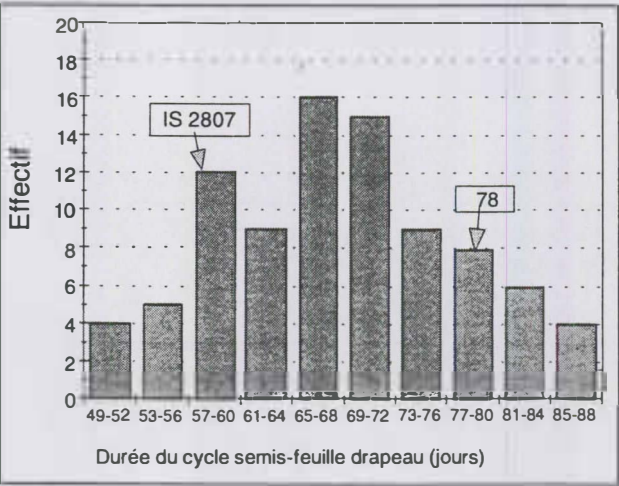


Figure 6. Distribution de fréquence de la durée du cycle végétatif pour 86 lignées F₆ recombinantes du croisement Is 2807 x 78 (semis du 21 juin).

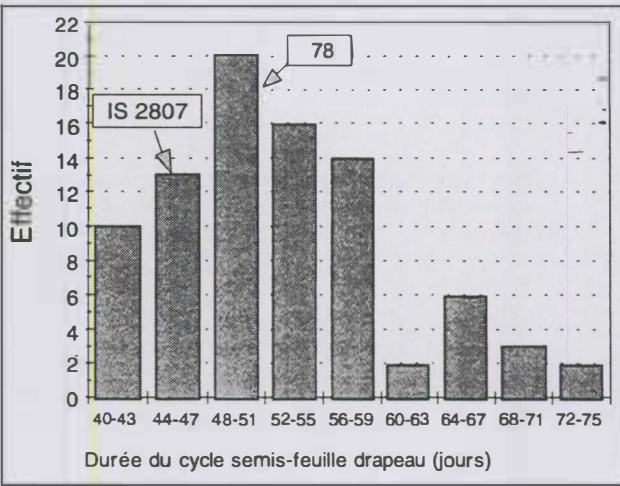


Figure 7. Distribution de fréquence de la durée du cycle végétatif pour 86 lignées F₆ recombinantes du croisement Is 2807 x 78 (semis du 22 septembre).

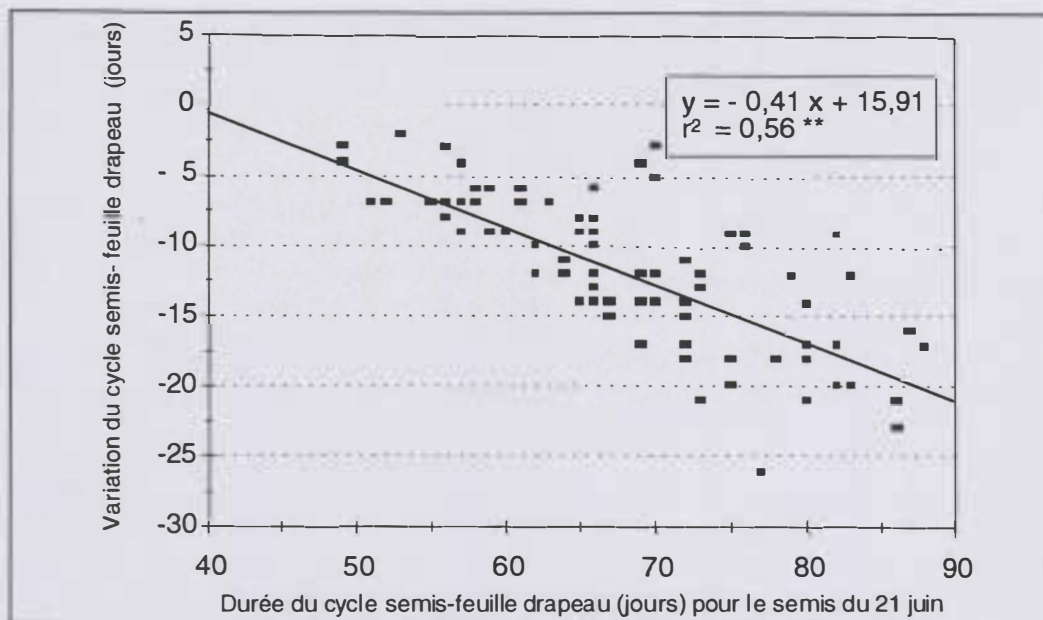


Figure 8. Relation entre la durée du cycle végétatif au semis du 21 juin et la variation de cycle végétatif entre les semis du 21 juin et 21 juillet pour 86 lignées F_6 recombinantes du croisement Is 2807 x 78.

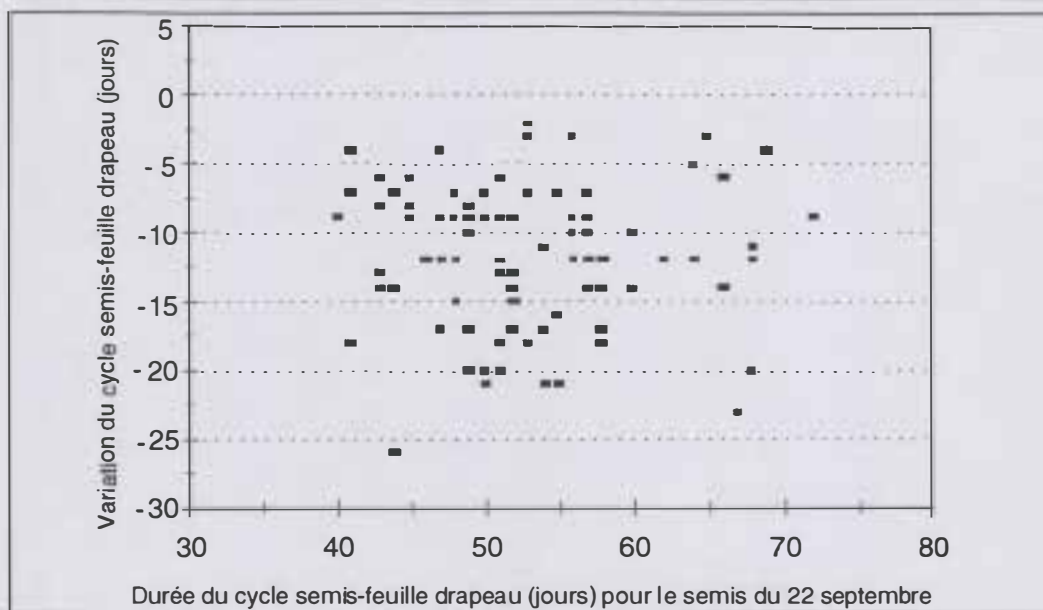


Figure 9. Relation entre la durée du cycle végétatif au semis du 22 septembre et la variation de cycle végétatif entre les semis du 21 juin et 21 juillet pour 86 lignées F_6 recombinantes du croisement Is 2807 x 78.

plutôt une allure bimodale qui traduit l'effet d'un nombre limité de gènes sur le Bvp (figure 7).

Pour l'ensemble des 86 lignées, nous avons étudié la relation entre la durée du cycle végétatif pour le semis du 21 juin et la variation de ce cycle suite à un décalage du semis de 30 jours (figure 8). Une relation linéaire hautement significative est mise en évidence entre ces deux variables ($r^2 = 0,56$). Ainsi, les lignées les plus tardives pour un semis du 21 juin présentent la réduction de cycle la plus importante suite au retard de semis. En d'autres termes, les lignées tardives sont celles qui répondent le plus à la photopériode alors que les lignées les plus précoces réagissent peu ou pas à la photopériode, comme cela a déjà été rapporté dans une étude antérieure (Chantereau *et al.*, 1995). Cependant, parmi les lignées de cycle moyen convenant pour la zone Centre du Burkina Faso, c'est-à-dire celles ayant dans

ce cas un Csfd compris entre 65 et 75 jours, cette relation linéaire est beaucoup moins évidente. Par exemple, on note que des lignées ayant une même durée de cycle végétatif de 70 jours pour le semis du 21 juin montrent des réponses à la photopériode très contrastées, avec une réduction de cycle suite au semis du 21 juillet variant de 3 à 17 jours. En conséquence, la sélection dans ce type de croisement de matériel photopériodique à cycle moyen ne sera vraiment efficace qu'avec un semis plus précoce, dans la première semaine de juin.

A l'opposé, aucune relation n'est mise en évidence entre la durée du cycle végétatif pour un semis du 22 septembre et la même réduction de cycle entre les semis du 21 juin et du 21 juillet (figure 9). Pour ces lignées, cela indique qu'il y a indépendance entre le Bvp et la sensibilité à la photopériode au sens strict.

Afin de mieux apprécier la variabilité du comportement photopériodique des lignées recombinantes, nous avons réalisé une analyse en composante principale (Acp) en considérant les variables de durée du cycle végétatif et nombre de feuilles émises pour les semis du 21 juin, 21 juillet et 22 septembre et la variation de longueur du cycle entre les semis de juin et juillet. Cette Acp a mis en évidence la structuration des lignées en quatre groupes principaux et deux groupes mineurs.

Les deux parents et un échantillon de lignées représentant les quatre groupes principaux ont été caractérisés selon le modèle de Major adapté par Vaksman et al. (1997).

Dans les représentations graphiques, les points correspondant au semis du 10 janvier sont souvent mal ajustés au modèle. Pour ce semis de janvier, une majorité de lignées recombinantes a en effet montré une durée de cycle végétatif excessive, qui pourrait être la conséquence d'une très forte attaque de pucerons en cours de végétation.

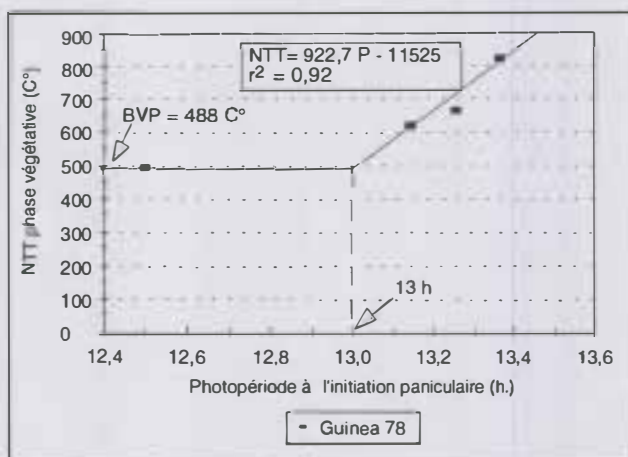


Figure 10. Caractérisation selon le modèle de Major adapté par Vaksman de la réponse photopériodique du parent guinea 78 (saria - 4 dates de semis).

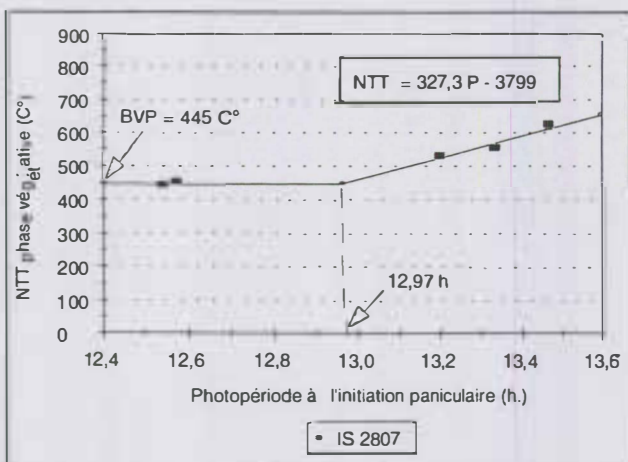


Figure 11. Caractérisation selon le modèle de Major adapté par Vaksman de la réponse photopériodique du parent caudatum Is 2807 (saria - 5 dates de semis).

Les deux parents du croisement, Is 2807 et 78, se distinguent surtout par la sensibilité à la photopériode au sens strict, définie par la pente de la droite de régression entre le cycle végétatif et la photopériode (figures 10 et 11).

Les trois premiers groupes de l'Acp se différencient suivant trois niveaux de sensibilité à la photopériode au sens strict (figure 12). L'existence des trois groupes montre que la sensibilité à la photopériode ne peut être seulement contrôlée par le gène de maturité Ma_1 et fait sans doute intervenir d'autres gènes. Le quatrième groupe représente les lignées ayant un Bvp élevé, proche de 600 °C. Pour l'ensemble des lignées, le Mop montre également une certaine variation allant de 12,8 h à 13,2 h. Comme les deux parents ont des valeurs de Bvp inférieures à 500 °C et des valeurs de Mop proches de 13 h, cela suggère que l'expression de ces deux caractères doit être commandée par plusieurs gènes avec, sans doute, des phénomènes de complémentation. Les deux derniers groupes définis par l'Acp ne paraissent pas très homogènes et sont difficiles à caractériser.

Certaines lignées manifestent des comportements photopériodiques très particuliers (figure 13). Ainsi, la lignée n° 84 ne révèle aucune sensibilité à la photopériode et la lignée n° 27 semble avoir une valeur de Mop très basse, inférieure à 12,4 h.

Au sein des lignées ayant une durée de cycle végétatif proche de 70 jours pour un semis du 21 juin, on retrouve les quatre grands groupes de réponse à la photopériode décrits précédemment (figure 14). Ainsi, pour ces lignées, on remarque qu'une même durée de cycle est le résultat de différentes combinaisons des trois paramètres du modèle de réponse à la photopériode, Bvp, Mop et la sensibilité à la photopériode au sens strict.

Conclusion

Avec l'étude des F_1 , il a été mis en évidence que, chez les sorghos guinea d'Afrique de l'Ouest, la sensibilité à la photopériode est dominante par rapport à l'insensibilité. Les résultats obtenus avec les F_2 montrent qu'au moins deux gènes majeurs, dont l'un pourrait être le gène de maturité Ma_1 cité dans la littérature, et plusieurs gènes mineurs contrôlent la durée du cycle végétatif. L'étude des lignées recombinantes suggèrent également que plusieurs gènes, avec probablement des phénomènes de complémentation, ont une action sur le Bvp et la sensibilité à la photopériode au sens strict.

Les études de marquage moléculaire réalisées avec ces lignées recombinantes devraient apporter de nouvelles informations sur le nombre de gènes impliqués

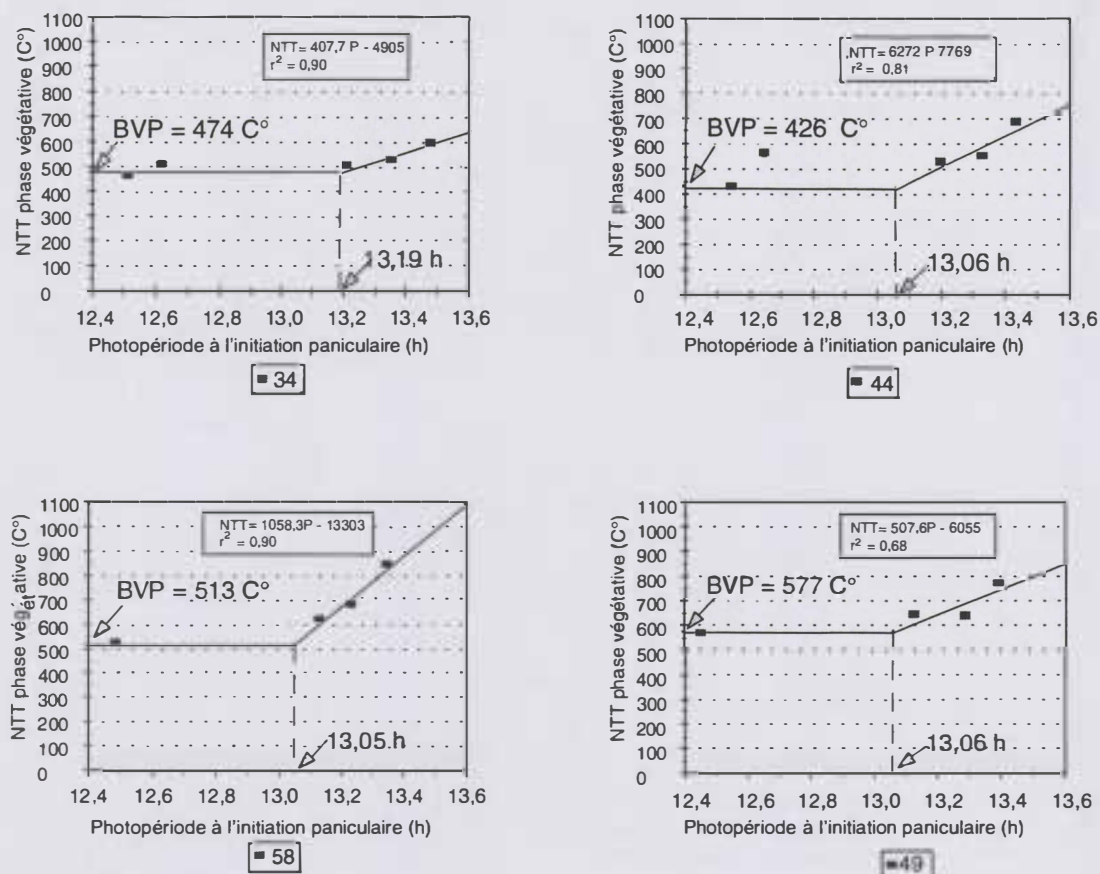


Figure 12. Principaux comportements photopériodiques selon le modèle Major adapté par Vaksman chez les lignées recombinantes Cauga semées à 5 dates à Saria.

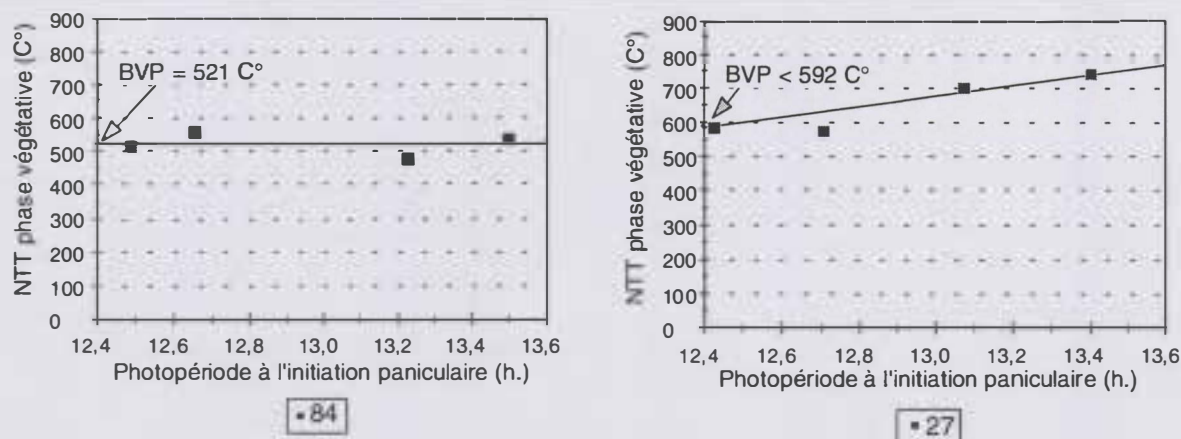


Figure 13. Exemples de deux comportements photopériodiques particuliers chez les lignées recombinantes Cauga (selon le modèle de Major adapté par Vaksman).

et leur rôle dans le contrôle génétique de la réponse à la photopériode. Parallèlement, pour une meilleure caractérisation du comportement photopériodique de ces lignées, il conviendra de compléter les observations de terrain avec au moins trois autres dates de semis. Enfin, les lignées ayant des réponses à la

photopériode bien contrastées seront croisées entre elles et avec des lignées testeurs afin de préciser la génétique des différentes composantes du photopériodisme.

Pour les programmes de sélection, les semis précoces sont recommandés pour mieux cribler le matériel

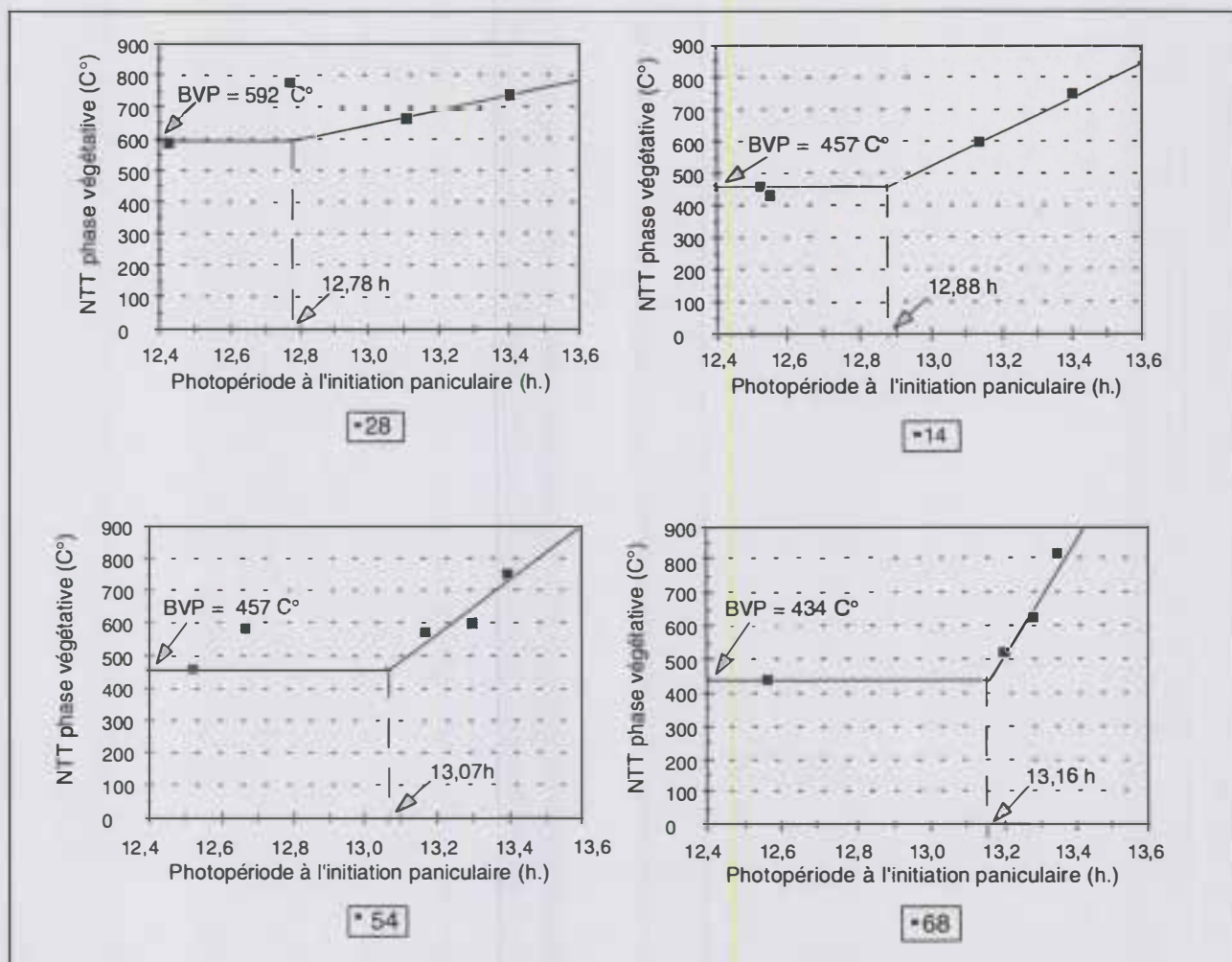


Figure 14. Variation des comportements photopériodiques pour des lignées recombinantes Cauga ayant une même durée de la phase végétative pour le semis du 21 juin.

photopériodique au sein des populations en ségrégation.

Références bibliographiques

- ALAGARSWAMY G., RITCHIE J.T., 1991. Phasic development in Ceres-Sorghum Model. In Predicting Crop Phenology. (Ed) HODGES T., Crc Press, Boca Raton : 143-152.
- CHANTEREAU J., HARNADA M.A., MAIGA B.M., 1995. Amélioration du sorgho. Programme conjoint Icrisat-Cirad. Rapport de synthèse. Rapport annuel. Icrisat, Bamako, Mali, 52 p.
- FORSYTHE W.C., RYKIEL E.J., STAHL R.S., HSIN-I WU, SCOTFIELD R.M., 1995. A model comparison for daylength as a function of latitude and day of year. Ecol. Modelling 80 : 87-95.

MAJOR D.J., 1980. Photoperiod response characteristics controlling flowering of nine crop species. Canadian Journal of Plant Science 60 : 777-784.

MAJOR D.J., ROOD S.B., MILLER F.R., 1990. Temperature and photoperiod effects mediated by the sorghum maturity genes. Crop Science 30 (2) : 305-310.

MUCHOW R.C., CARBERRY P.S., 1990. Phenology and leaf development in a tropical grain sorghum. Field Crop Research 23 : 211-237.

QUINBY J.R., 1967. The maturity genes of sorghum. Advanc. Agron. 19 : 267.

QUINBY J.R., KAPER R.E., 1945. The inheritance of three genes that influenced time of floral initiation and maturity date in Milo. J. Amer. Soc. Agron. 37 : 916.

QUINBY J.R., KAPER R.E., 1954. Inheritance of height in Sorghum. Agron. J. 46 : 211.

ROOD S.B., MAJOR D.J., 1981. Diallel analysis of the photoperiodic response of maize. *Crop Science* 21 : 875-878.

STOOP W. A., PATTANAYAK C. M., MATLON P. J., ROOT W. R., 1981. A strategy to raise the productivity of subsistence farming systems in the west African semi-arid tropics. *In Proceedings, sorghum in the Eighties*. Icrisat, 2-7 November 1981, A.P., India, p. 519-526.

VAKSMANN M., TRAORE S., NIANGADO O., 1996. Le photopériodisme des sorghos africains. *Agriculture et développement* 9 : 13-18.

VAKSMANN M., CHANTEREAU J., BAHMANI I., A.G. HAMADA M., CHARTIER M., BONHOMME R., 1998. Influence of night temperature on photoperiod response of a West African landrace. *Atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho*, Icrisat/Cirad, 17-20 mars 1997, Bamako, Mali.